

機関番号：12605

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20300043

研究課題名 (和文) 変更した視触覚の提示による遠隔仮想空間作業の支援と
脳血流による認知負荷の評価研究課題名 (英文) Haptic-Visual Assistance of Remote Collaborative Task
and Evaluation of Workload

研究代表者

藤田 欣也 (FUJITA KINYA)

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：30209051

研究成果の概要 (和文)： 指先装着型の小型力覚提示装置を用いたバーチャルリアリティ環境において、把持物体と他の物体の干渉の認知や、遠隔共同作業における作業相手との協調の支援を目標に、変更した力覚提示方法を検討するとともに、その効果を実験的に検討した。その結果、協調した力覚提示は把持や物体の設置を主観的に支援するとともに、作業時間の改善効果を有することが確認された。また、物体を介した相互拘束を計算によって疑似的に実現すると同時に力覚提示することで、共同作業が支援可能であることが示された。

研究成果の概要 (英文)： Towards the assistance of the collision cognition of handling object and the assistance of remote cooperative object handing, the enhanced haptic display methods were experimentally studied in the virtual environment that utilizes wearable fingertip force display devices. It was demonstrated that the enhanced haptic information subjectively assists the virtual object handling and improves the handling efficiency. It was also demonstrated that the remote cooperative handing is assisted by the computed pseudo-restriction between the remote users and the haptic display of the restriction force.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2009年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
総計	8,800,000	2,640,000	11,440,000

研究分野：バーチャルリアリティ、ヒューマンインタフェース

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：バーチャルリアリティ、力覚、触覚、作業支援、共同作業、仮想空間、強調

1. 研究開始当初の背景

バーチャルリアリティ技術とネットワークを利用した遠隔共同作業環境は、異なる場所の共同作業者が同時に大規模設備の設計確認やデザインに参加することを可能にすることから、その実用化が期待されている。しかし、力覚提示を伴った遠隔共同作業の研究は少数であった。

その理由の一つに、力覚提示装置の問題が

ある。力触覚情報は、作業の状態認知や作業効率を左右する重要な情報であり、ロボット技術を応用した様々な装置が国内外で開発されてきたが、これらの装置は、高精度である反面、基本的に1点接触型の装置であるため、直接、指で物体を把持するような作業への応用は困難であった。そこで、申請者らをはじめとする国内外の研究者が、指先装着型の疑似力覚提示装置の研究を始めたが、ユー

ザの動作を拘束する力を持たないため、指先がバーチャルな物体に侵入し、反力計算が破綻する問題が生じていた。

また、力触覚の提示は接触を伴う作業において重要であることは認識されつつも、どのように情報を提示すれば作業認知が容易になり作業効率が改善されるか、は、ほとんど未検討であった。特に、ネットワークを介した共同作業における作業支援やその効果に関する研究はごく少数で、実験的な評価や適切な作業支援のための装置や力覚計算方法の検討が望まれていた。

2. 研究の目的

本申請課題では、指先装着型の小型力覚提示装置を用いたバーチャルリアリティ環境における、単独作業や遠隔共同作業における作業支援を目標に、以下の3課題に取り組むこととした。

(1)指先を使った仮想物体ハンドリング作業において、接触反力を改変して提示することにより作業の支援が可能か検討すると共に、より適切な力触覚情報の改変方法を検討すること。

(2)指先を使った仮想物体ハンドリング作業において、力覚提示の有無や提示条件が、ユーザの作業効率を改善する場合、その支援効果を、近赤外光イメージング装置による前頭部の脳活動計測によって、認知負荷の観点から評価すること。

(3)遠隔共同作業環境において、共同作業者と同一物体を把持することによって生じる拘束の仮想環境における疑似的表現や、共同作業者の動作に起因する干渉力を提示することによって、作業者間の同期を支援し仮想共同作業の効率を改善すること。

3. 研究の方法

(1)これまで開発してきた指先圧迫型の擬似力覚提示装置を改良し、バーチャルカップリング法を用いて汎用物理シミュレーションライブラリ(ODE)と組み合わせることで、図1の様な、指先力覚提示機能を有する仮想作業環境を構築した。

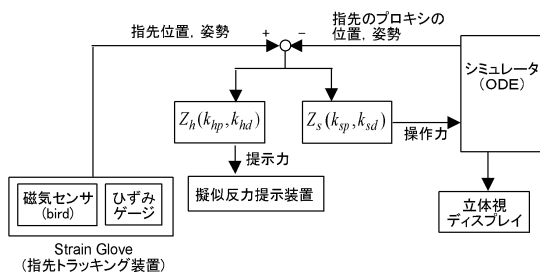


図1 指先力覚提示機能を有する仮想空間作業システム

ここで、擬似反力提示装置は仮想物体への

侵入を阻止できないため、安定なシミュレーションを実現しようとする反力の立ち上がりが遅延し、把持物体と指の接触や、把持物体と他の物体の干渉の認知が困難となる。そこで、微分要素を用いて反力の変化を強調する力変化強調法、さらに、接触状態の変化を検出して離散的に提示反力を制御する接触状態提示法を、力覚提示無し、バーチャルカップリング単純な力覚提示、と比較した。

力変化強調法では、干渉時のみ提示力計算用バーチャルカップリングの粘性要素を増加させることで、干渉による反力の変化を強調した。干渉発生の検出は、プロキシと物体の干渉時と二次干渉時には急激に指先とプロキシの距離が増加することから、指先が物体に接触しており、かつ、プロキシと指の距離が増加していること(微分値が0より大)を検出条件とした。強調時のバーチャルカップリングの粘性係数は、干渉の認知が容易になるように実験的に調整し40N/mとした。また、把持物体を移動する時の粘性要素出力の振動を抑制するために、プロキシと実指の距離の微分値は、20サンプル(160ms)の位置情報から、最小二乗法を用いて算出した。

接触状態提示法では、把持・設置作業における指先の状態を非接触、接触、二次干渉の3段階でモデル化し、それぞれ0N、1.25N、2.5N(最大出力)の3段階の力を提示した。各接触状態において指先が変位したときに、指先侵入量の変化が反力に反映されないため、把持力の調整などは不可能になるが、プロキシや把持物体と他の物体の干渉検出結果を利用することで、遅延のない干渉状態変化の提示が可能になる。

(2)仮想物体ハンドリング作業における、物体把持は把持物体の台との干渉時の、力覚提示の有無による認知の際を評価するために、仮想物体操作中の被験者の前頭葉の脳活動を近赤外分光装置(fNIRS、島津製作所FOIRE-3000)を用いて測定した。実験時のアーチファクトを回避するために、被験者の頭部運動を拘束した。実験タスクは、被験者には、指先でブロックを把持し、円柱の台の上に設置する課題で、被験者数は右利きの20代男性3人とした。ブロックの大きさや、台の大きさはランダムに変化させた。

実験条件は、(A)力覚有り、(B)力覚無し、の2条件で、(R)レストを挟む3ブロックデザインとし、1ブロックは90秒とした。試行数は、(A)(B)(R)あるいは(B)(A)(R)を1セットとし、合計7セットの21試行とした。

(3)指先を拘束できない疑似反力提示装置を用いた仮想作業環境において、複数ユーザが共同で物体を操作する際には、互いの手が自由に動かせることにより、バーチャルカップ

リングの値を小さくしてもなおバーチャルカップリングが過大な力を発生させ、意図しない把持解消などの問題が発生する。そこで、前述のシステムを基礎とするサーバクライアント方式の遠隔共同作業空間を構築し、さらに、物体共同把持中の作業者間の手の位置関係を保持する方式ならびに力覚提示方法を検討した。

提案手法では、複数のユーザが同一物体を把持している場合には、互いの手の距離がプロキシの距離と同じになるように手の位置を修正する、擬似的な手の拘束を提案する。例えば、図2のように相手が手を移動した場合には、手の距離がプロキシ間距離よりも大きくなるため、両方のユーザが近づくように、両者の手の位置を修正する。ただし、ユーザ間の距離を単純に拘束すると、物体を回転させる方向へのユーザの運動も拘束されて、把持物体の回転が阻害される。そこで、両ユーザの仮想手を結ぶ軸方向の距離のみを修正する方法を提案する。擬似拘束により物体軸方向の手位置を修正しても、把持物体は両ユーザの手の中間に位置するため、拘束後もVCのみの場合と同様の挙動が期待できる。

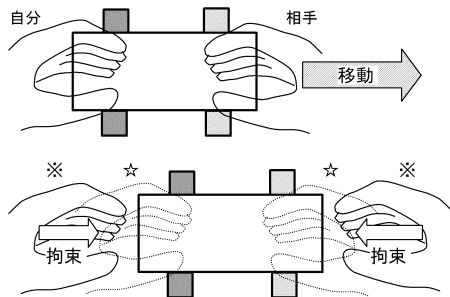


図2 仮想空間共同作業における共同作業者間の擬似的な手の拘束

4. 研究成果

(1)作業支援効果の評価実験は、物体を把持して移動し設置するタスクを被験者に課し、作業効率等を評価した。作業タスクは、画面上に表示された拇指と示指、中指のプロキシを操作して、ブロック(50, 60, 70mmの立方体、質量0.2kg)を把持し、台上(円柱、φ35, φ40, φ45, φ50)に設置するものである。ブロックや台の大きさは作業毎にランダムに変更した。把持物体を深く握りすぎた場合(侵入量が25mm以上)、台に把持物体を押し付けすぎた場合(プロキシと指先の下方向距離が25mm以上)は失敗とし、音を用いて被験者に通知した。

評価項目は、主観評価、失敗回数、作業時間、指先侵入量である。主観評価は5件法を用いて回答させた。作業時間と指先侵入量は失敗した作業を除いた平均と標準偏差を求めた。被験者には、実験システムに習熟させるため、事前に30分以上の練習を行わせた。

実験は、10個のブロックの設置を1試行として、各2試行をおこなわせた。被験者は、右利きの20代男性9人と女性1人で、各条件の実施順序は被験者ごとに入れ替えた。

図3に、被験者が回答した主観評価値の平均と標準偏差を示す。すべての評価項目において、力覚なし、弾性のみ、力変化強調法、接触状態提示法の順で評価が高くなった。t検定の結果、把持に関する評価項目は、把持感覚、持ちやすさともに、弾性のみと比較して状態提示法が有意に高い結果となったが、力変化強調法と状態提示法の間に有意差は認められなかった。他方、設置に関する評価項目は、弾性のみと比較して力変化強調法が有意に高く、さらに力変化強調法より状態提示法が有意に高かった。力変化強調法と遅延がない状態提示法の主観的な強調効果を比較すると、把持に関する相違よりも、設置作業における相違がより大きい可能性を示唆する結果となった。

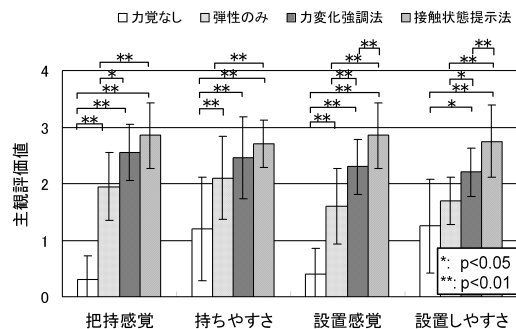


図3 物体の把持移動設置課題における各条件の主観評価結果

物体を把持してから設置するまでの総作業時間と、作業の各フェーズの所要時間を図4に示す。把持時間は、いずれかの指が把持物体に接触してから物体が台から離れるまでの時間を、設置時間は、把持物体が台に接触してから指が完全に離れるまでの時間を意味する。把持時間は、力変化強調法と接触状態提示法の両手法で、力覚なしと弾性のみよりも有意に減少した。また、移動作業時には干渉が発生しないため、条件による移動時間の差はないものと予想されたが、反力の強調により減少する傾向を示し、接触状態提示法は力覚無しや弾性のみよりも有意に短くなった。設置時間は、力覚なし、弾性のみと比較して、反力を強調する2条件で有意に減少した。さらに、力変化強調法よりも接触状態提示法で設置時間が有意に減少した。反力の強調提示によって、指と物体の干渉や、把持物体と他の物体の二次干渉の認知を早め、作業効率を改善できる可能性が示されたものと考えられる。同時に、VCにもとづく力変化強調法と、遅延がない理想的な条件との間には、二次干渉の認知において、認知の支

援効果に差があることも示唆された。

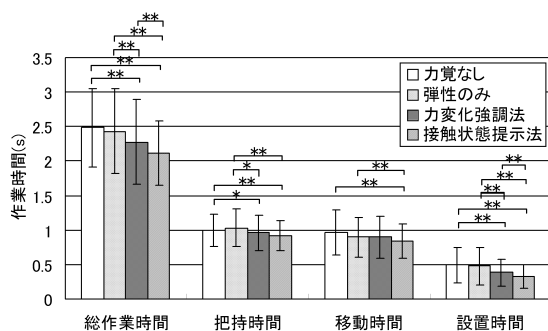
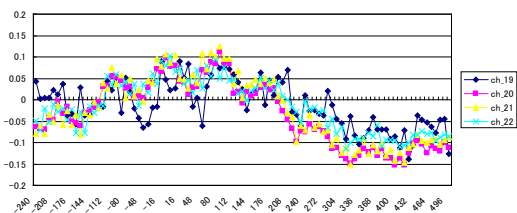


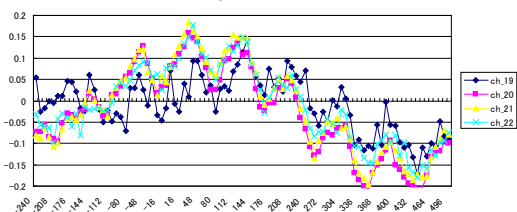
図4 物体の把持移動設置課題における各条件での作業時間

以上のように、指先への疑似指力覚提示装置と VC を組み合わせた力覚提示システムにおいて生じる、把持や干渉の認知遅れに対する、力覚強調の作業支援効果を実験的に検討した。その結果、力覚の強調によって作業効率が改善する可能性があることが示された。

(2)力覚提示による接触状態の認知支援効果の評価は、課題時に計測された酸素化ヘモグロビン量を、力覚提示条件ごとに接触イベントに応じて同期加算することでおこなった。図5に、把持している仮想物体が台に接触した時の酸素化ヘモグロビン量の変化の例を示す。左の実線は把持物体と台が干渉した時刻を示す。右の実線は干渉時刻の3秒後を示す。実験結果は、前頭部の19、20、21、22の四チャンネルを示す。それぞれ、各チャンネルの前半30サンプルを用いて値を正規化した。



(a)力覚提示なし



(b)力覚提示有り

図5 把持仮想物体が台と干渉した時の前頭部酸素化ヘモグロビンの変化例

図5に見られるように、力覚提示条件と非力覚提示条件の脳活動はやや異なっており、力覚提示が認知負荷に影響した可能性が伺

える。しかし、単純な増減を含め、複数の被験者に共通した傾向は見られず、個人差の大きな結果となった。しかし、図3,4に見られるように、力覚提示は把持感覚や干渉の認知を支援することが主観的に確認されており、作業時間も短縮されることが確認されている。その一方で、デバイスの重量などのため、課題中に被験者が感じるストレスは条件によって大きく異なることも聞き取り調査で確認された。そのため、力覚提示による認知支援効果が、前頭部の脳血流に有意な差として反映されなかったと推測される。

(3)遠隔共同作業の支援に関しては、共同物体運搬タスクにおいて、手の擬似拘束と拘束の力覚提示の作業支援効果を評価した。タスクは、画面上に表示されたプロキシを操作して、ブロックを共同で把持し、把持したブロックを運搬、台上に設置、定位置に移動するというものである。ブロックや台の位置は作業毎にランダムに変更した。また、運搬中や設置中にブロックを落下させた場合は失敗とし、ブロックを初期位置に戻した。実験条件は、1)拘束なし+力覚なし、2)拘束あり+力覚なし、3)拘束なし+通常VC、4)拘束あり+通常VC、5)拘束あり+拘束力強調、6)拘束あり+非線形拘束力の6つを設定した。被験者には、実験前にシステムに慣れるために事前練習をさせた。さらに、実験に際して、各条件での計測前に、再度練習を行わせた後に、5個のブロックの設置×3セットの評価課題を課した。被験者は、右利きの20代～30代の男性9人と女性1人である。



図6 仮想共同作業実験環境

図7にタスクの各フェーズの所要時間の平均と標準偏差を示す。把持時間はいずれかのユーザのプロキシがブロックに接触してから共同で持ち上げるまでの時間、運搬時間は持ち上げてから台に接触するまでの時間、設置時間は台に接触してから両ユーザがブロックを離すまでの時間、設置後移動時間は離してから定位置に移動するまでの時間である。拘束や拘束力提示の効果が期待される運搬フェーズにおいては、力覚なし2条件を比較すると、拘束によって運搬時間が減少した。また、拘束なし2条件を比較すると、力覚提示により時間が減少した。さらに、拘束と力覚の併用、拘束と強調2条件で運搬時間が減

少しした。

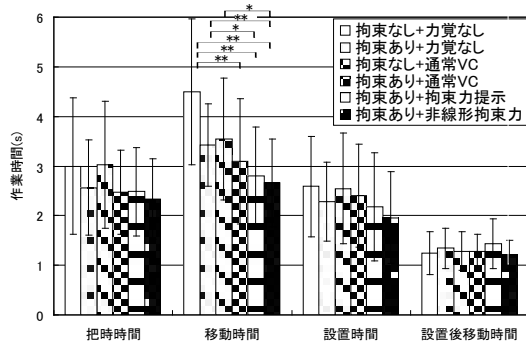


図7 仮想共同作業における各条件の作業時間

実験より、互いの手の擬似的な拘束により、共同物体運搬作業を支援できることが確認された。拘束により、相手との距離が開いても把持が解消しなくなったため、作業速度を低下させずに作業が可能になったためと考えられる。さらに、拘束の力覚提示によっても作業を支援可能であることが確認された。相手との動作ずれを認知することで、動作協調が容易になったためと考えられる。特に、拘束と力覚の併用を併用することで、把持解消せずに拘束力が大きく提示され、認知を支援したと思われる。さらに拘束力の強調によって、拘束力の認知を支援することで、より効果的な作業支援が可能になるものと期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 鎌田勝寛, 稲葉豪, 藤田欣也, 小出力指先力覚提示装置使用時の問題点と干渉強調による支援可能性の検討, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, Vol.15, No.4, 2010, pp.653-661
- ② 大丘達也, 藤田欣也, 振動ファントムセンセーションの位置制御による指先への接線力と滑りの代替提示, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, Vol.15, No.2, 2010, pp.263-272

[学会発表] (計9件)

- ① 鎌田勝寛, 藤田欣也, 共同物体操作のための仮想手の拘束とその力覚提示, 日本バーチャルリアリティ学会第6回力覚の提示と計算研究会, 2011年3月8日, 慶應義塾大学
- ② 藤田欣也, 鎌田勝寛, 鈴木啓介, 疑似力覚提示装置とVCの組み合わせにおける問題点の検討, 日本バーチャルリアリティ学

会第5回力覚の提示と計算研究会, 2010年11月1日, 東北大学

- ③ 鈴木啓介, 藤田欣也, 小出力力覚提示装置を用いた環境での把持物体はめ込み位置の認知支援, 日本バーチャルリアリティ学会第15回大会, 2010年9月17日, 金沢工業大学
- ④ T. Ooka and K. Fujita, Virtual object manipulation system with Substitutive display of tangential force and slip by control of vibrotactile phantom sensation, 2010 Haptic Symposium, 2010年3月25日, Waltham, USA
- ⑤ 木暮耕太郎, 鎌田勝寛, 藤田欣也, バーチャルカップリングの動的制御による物体設置操作支援, 日本バーチャルリアリティ学会第14回大会, 2009年9月10日, 早稲田大学
- ⑥ 藤田欣也, 把持による柔らかさの知覚と提示に関する研究 (招待講演), 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会, 2009年6月16日, 北海道大学
- ⑦ 大丘達也, 藤田欣也, 振動ファントムセンセーションの位置制御による接線力と滑り感の擬似提示, 日本バーチャルリアリティ学会第1回力覚の提示と計算研究会, 2009年1月26日, 横浜
- ⑧ 稲葉豪, 藤田欣也, 多指擬似反力提示装置を用いた干渉の強調による作業支援, 日本バーチャルリアリティ学会第13回大会, 2008年9月24日, 奈良先端科学技術大学院大学
- ⑨ Y.Matsuda and K.Fujita, Estimation of occluded finger position in a camera-based tracking system based on human grasping models, INTUITION 2008, 2008年10月7日, Turin, Italy

[その他]

ホームページ等

<http://www.tuat.ac.jp/~kfujita/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

藤田 欣也 (FUJITA KINYA)

東京農工大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 30209051

(2)研究分担者

田中 貴紘 (TANAKA TAKAHIRO)

東京農工大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 80451988

(H21-22: 連携研究者)

(3)連携研究者

野澤 孝之 (NOZAWA TAKAYUKI)

東京農工大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 60370110